

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS HASIL  
PENGELASAN DENGAN METODE *FRICTION STIR  
WELDING* (FSW) PADA ALUMINIUM SEJENIS (AL SERIE  
1100) TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I  
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**DENI YONAS FANTRIA**

**D 200 140 083**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2019**

## **HALAMAN PERSETUJUAN**

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS HASIL PENGELASAN  
DENGAN METODE *FRICTION STIR WELDING* (FSW) PADA  
ALUMINIUM SEJENIS (AL SERIE 1100) TERHADAP SIFAT FISIS DAN  
MEKANIS**

**PUBLIKASI ILMIAH**

**Oleh:**

**DENI YONAS FANTRIA**

**D 200 140 083**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen  
Pembimbing



**Ir. Bibit Sugito, M.T.**

**NIDN.0616106001**

## HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS HASIL PENGELASAN  
DENGAN METODE *FRICTION STIR WELDING* (FSW) PADA  
ALUMINIUM SEJENIS (AL SERIE 1100) TERHADAP SIFAT FISIS DAN  
MEKANIS**

**OLEH**

**DENI YONAS FANTRIA**

**D 200 140 083**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji**

**Fakultas Teknik**

**Universitas Muhammadiyah Surakarta**

**Pada hari rabu, 16 Januari 2019**

**dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

**Dewan Penguji:**

**1. Ir. Bibit Sugito, M.T.**

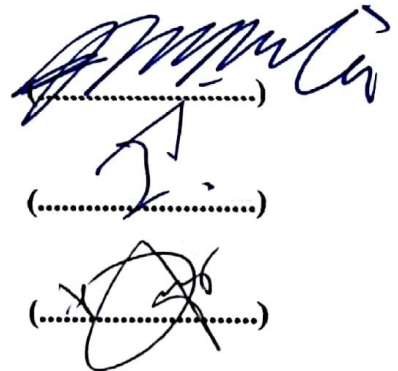
**(Ketua Dewan Penguji)**

**2. Ir. Sunardi Wiyono, M.T.**

**(Anggota I Dewan Penguji)**

**3. Patna Partono, ST, M.T.**

**(Anggota II Dewan Penguji)**



**Dekan**



**Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.**

**NIK.682**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 16 Januari 2019

Penulis



**Deni Yonas Fantria**

**D 200 140 083**

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS HASIL PENGELASAN  
DENGAN METODE *FRICTION STIR WELDING* (FSW) PADA  
ALUMINIUM SEJENIS (AL SERIE 1100) TERHADAP SIFAT FISIS DAN  
MEKANIS**

**Abstrak**

Friction Stir Welding (FSW) adalah proses pengelasan yang memanfaatkan panas akibat putaran tool bergesekan dengan logam induk dibawah tekanan aksial yang besar pada daerah pengelasan sehingga dapat menghasilkan sambungan. Metode pengelasan friction stir welding dapat digunakan untuk menyambungkan material yang sulit di las pada fusion welding. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas annealing dan normalizing pada hasil pengelasan material aluminium sejenis AA 1100 terhadap sifat mekanik dan sifat fisis. Pada proses pengelasan ini menggunakan mesin milling dengan parameter feedrate 60 mm/menit, sudut kemiringan tool sebesar 3° dan kecepatan putaran tool 1500 rpm. Serta perlakuan panas annealing dan normalizing dilakukan pada suhu 345°C dengan penahanan panas didalam tungku selama 2 jam. Sifat mekanik diketahui dari pengujian tarik dan pengujian kekerasan, sifat fisis diketahui dari struktur mikro. Hasil penelitian ini didapatkan nilai kekuatan tarik pada normalizing material lebih tinggi dibanding dengan raw dan annealing dengan nilai tegangan rata-rata 93,21 MPa dan nilai regangan 16,50%. Nilai kekerasan tertinggi daerah base metal, daerah HAZ dan las semua terjadi pada raw material sebesar 29,4 BHN, 33,7 BHN dan 40,3 BHN. Sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada semua daerah pada material yang di annealing. Struktur mikro pada daerah HAZ dan weld nugget mengalami pertumbuhan butir akibat temperatur yang diterima. Sedangkan pada weld nugget menunjukkan tampilan struktur mikro yang kecil dan rapat.

**Kata kunci:** Friction Stir Welding, Aluminium 1100, Heat Treatment, Annealing, Normalizing, Struktur Mikro.

**Abstract**

Friction Stir Welding (FSW) is a welding process that utilizes heat due to the rotation of the tool with metal rubbing against the parent under axial pressure on the welding area so that it can make the connection. Method of welding friction stir welding can be used to connect the difficult material in las at fusion welding. This research is to know the influence of heat treatment annealing and normalizing on the weld material aluminum AA 1100 against similar mechanical properties and physical properties. In this welding process using a milling machine with parameter feedrate 60 mm/min, the angle of tilt of the tool of 3 ° and speed of rotation of the tool 1500 rpm. As well as normalizing and annealing heat treatment is carried out at a temperature of 345 ° C with heat in the furnace detention for 2 hours. Mechanical properties of tensile testing and testing the physical properties of the force, known from the microstructure. The results of

this study found that the tensile strength values in normalizing material were higher than raw and annealing with an average stress value of 93.21 MPa and strain values of 16.50%. The highest hardness value of the base metal area, HAZ and weld area all occurred in raw material of 29.4 BHN, 33.7 BHN and 40.3 BHN. While the lowest hardness occurs in all regions of the material being annealed. The microstructure of the HAZ region and weld nuggets experienced grain growth due to the temperature received. While the weld nugget shows a small micro-structure and tight appearance.

**Keywords:** Friction Stir Welding, Aluminium 1100, Heat Treatment, Annealing, Normalizing, Micro-Structure.

## 1.PENDAHULUAN

Di era sekarang ini perkembangan teknologi semakin maju dan pesat, yang tentunya juga perlu diimbangi dengan menghadirkan teknologi yang tepat guna serta dengan kualitas yang lebih baik. Salah satunya yang sering kita temui adalah berkaitan dengan sambungan. Sambungan adalah proses penyambungan dua bahan atau lebih, benda yang terpisah untuk menjadi satu. Sambungan sering kita jumpai dan merupakan bagian yang tak terpisahkan dari dunia industri otomotif, kedirgantaraan dan perkapalan. Mengingat betapa *vital*nya peran sambungan, tentunya perlu menjadi perhatian tersendiri daripada para *designer* dan produsen-produsen yang berhubungan secara langsung dengan proses sambungan tersebut. Proses menyambung terdapat beberapa macam dalam dunia permesinan, salah satunya adalah dengan cara pengelasan. Sedangkan untuk pengelasan sendiri berdasarkan definisi Deutsche Industri Normen (DIN) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer.

Proses pengelasan dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu: *Liquid Fusion Welding* (LSW) dan *Solid State Welding* (SSW). LSW adalah proses pengelasan logam dengan cara mencairkan logam tersebut terlebih dahulu, sedangkan SSW merupakan proses pengelasan logam yang dilakukan pada kondisi padat atau logam tidak mencapai titik leburnya pada saat tersambung. Salah satu metode SSW adalah *Friction Stir Welding* (FSW), yaitu proses pengelasan dengan memanfaatkan panas yang timbul akibat putaran dari tool yang bergesekan dengan logam induk di bawah tekanan aksial yang besar pada daerah pengelasan.

*Friction Stir Welding* (FSW) adalah suatu proses pengelasan baru yang ditemukan di TWI (*The Welding Institute*) oleh Wayne Thomas tahun 1991. *Friction stir welding* (FSW) merupakan proses penyambungan logam tanpa *filler* dan tidak meleleh. Proses penyambungan logam terjadi pada fasa padat karena berlangsung pada temperatur dibawah titik leleh dari material yang akan disambung. Proses pengelasan dilakukan dengan memasukkan *pin tool* ke material yang akan disambung sampai *shoulder* menyentuh permukaan atas material. Panas disebabkan oleh gesekan antara *tool* dan material. Karena panas tersebut material disekitar sambungan menjadi panas dan lunak, kemudian *tool* akan digerakkan berputar mengaduk bagian tersebut sehingga terbentuklah sambungan las.

Pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) sering diaplikasikan pada logam aluminium atau pada *dissimilar* logam. Kelemahan saat proses pengelasan FSW terjadi pada sambungan lasan yang mengalami pelunakan dan penurunan tegangan tarik akibat proses rekristalisasi di *nugget zone* selama proses pengelasan berlangsung.

Pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) harus memerhatikan beberapa parameter untuk mendapatkan proses yang optimal, antara lain : putaran *tool* (*rotational speed*), kecepatan pengelasan (*welding speed*), kedalaman penetrasi *tool* (*tool deep plunge*), sudut kemiringan *tool* terhadap benda kerja, dan bentuk/profil dari pin (Rajakumar, dkk, 2012). Pemilihan parameter FSW yang tepat, akan mendapatkan hasil pengelasan yang baik dan meminimalkan cacat pengelasan yang terjadi.

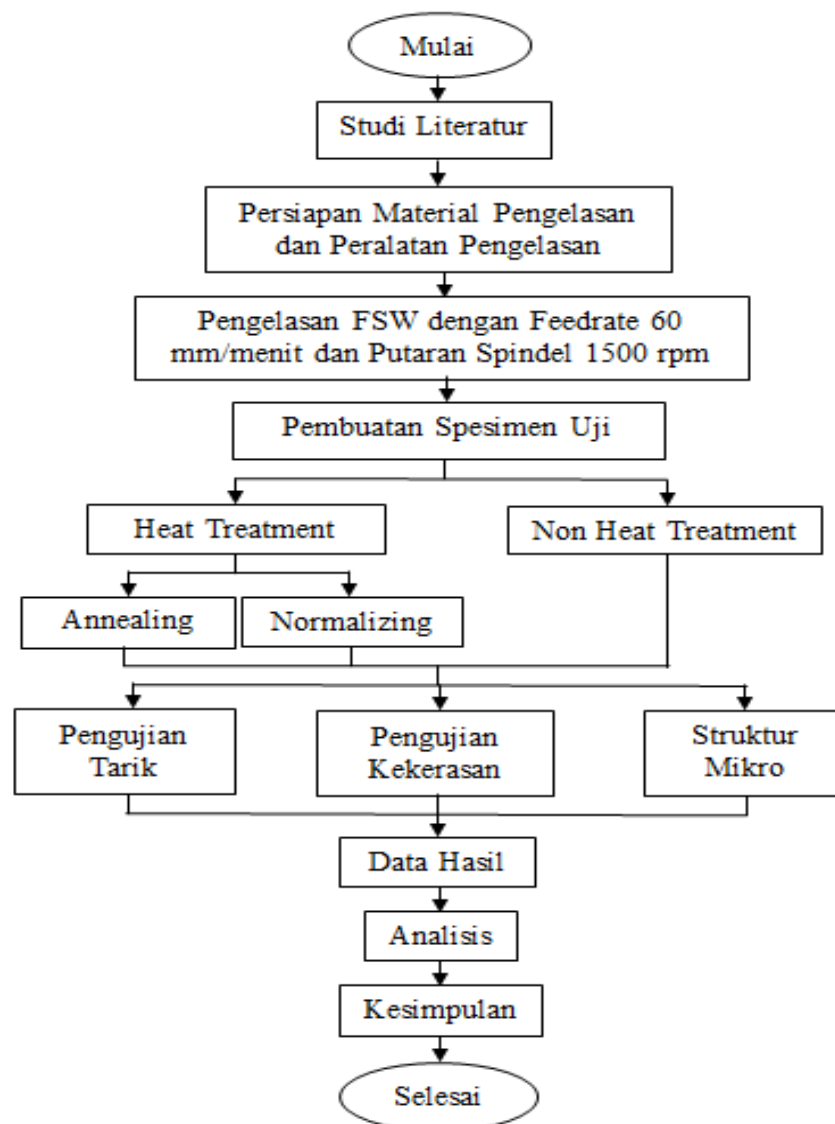
Namun, selain dengan pemilihan parameter FSW yang tepat juga perlunya proses lanjutan berupa *heat treatment* untuk memperoleh kualitas hasil sambungan yang lebih baik. Proses *heat treatment* adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan yang terkontrol, dengan tujuan mengubah sifat fisik dan sifat mekanis dari suatu bahan atau logam sesuai dengan yang diinginkan. (Kamenichny, 1969: 74). Proses dalam *heat treatment* meliputi *heating*, *colding*, dan *cooling*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *heat treatment* pada hasil *friction stir wealding* (FSW) pada alumunium seri 1100 terhadap sifat fisis, mekanis dan struktur micro hasil *friction stir wealding* (FSW). Dari penelitian ini,

penulis berharap akan mendapat sebuah kesimpulan mengenai sifat, mekanis dan struktur mikro pengelasan *friction stir wealding* (FSW) yang di *heat treatment*.

## 2. METODE

Kegiatan penelitian ini dilakukan sesuai dengan diagram alir berikut ini:



Gambar 1. Diagram alir penelitian



## 2.1 Alat dan Bahan Penelitian

### 2.1.1 Bahan yang digunakan antara lain:



Gambar 2. Pelat Aluminium Alloy 1100

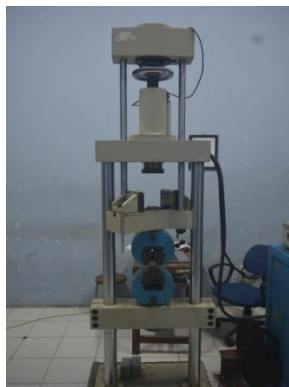
### 2.1.2 Alat yang digunakan antara lain:



Gambar 3. Mesin Milling Universal



Gambar 4. *Furnance*



Gambar 5. Alat Uji Tarik



Gambar 6. Alat Uji Kekerasan



Gambar 7. Tool



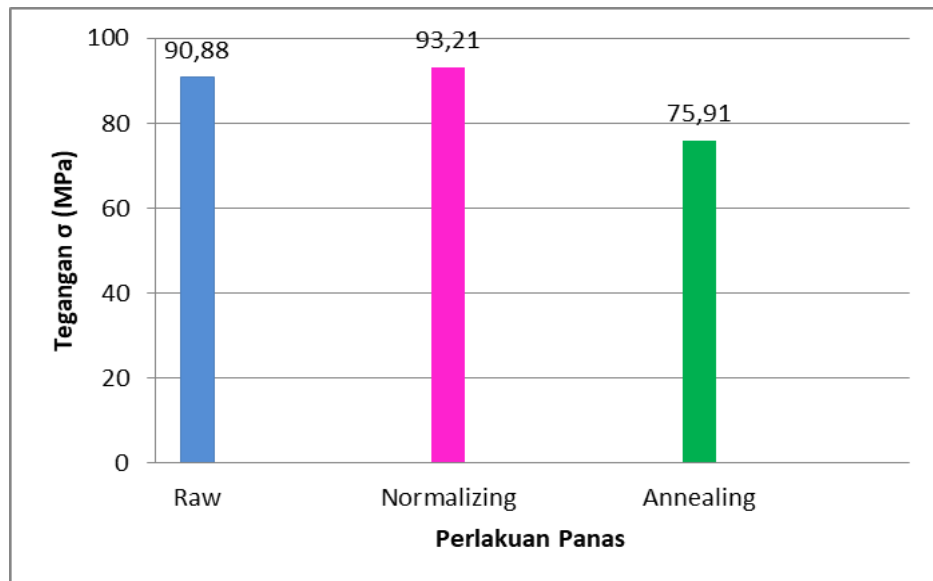
Gambar 8. Alat Uji Struktur Mikro

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Data Hasil Pengujian Tarik dan Pembahasannya

Tabel 1. Tegangan Hasil Uji Tarik

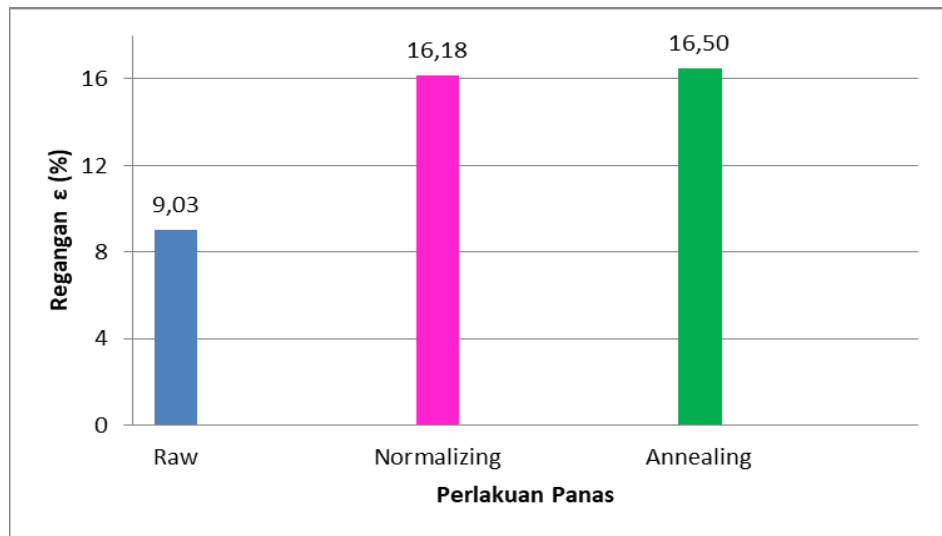
No	Perlakuan	P mak (KN)	A (mm <sup>2</sup> )	Tegangan, $\sigma$ (MPa)	Rata-rata, $\sigma$ (MPa)
1	Raw	4,60	43,54	105,65	90,88
2		3,16	45,60	69,29	
3		4,49	45,95	97,71	
4	Normalizing	4,14	41,89	98,83	93,21
5		3,96	44,20	89,6	
6		3,85	42,22	91,19	
7	Annealing	2,19	37,08	59,06	75,91
8		3,62	42,00	86,19	
9		3,62	43,90	82,47	



Gambar 9. Histogram Perbandingan Tegangan Hasil Uji Tarik

Tabel 2. Regangan Hasil Uji Tarik

No	Perlakuan	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$ (%)	Rata-rata, $\epsilon$ (%)
1	Raw	4,48	8,96	9,03
2		3,28	6,56	
3		5,79	11,58	
4	Normalizing	6,99	13,98	16,18
5		10,41	20,82	
6		6,87	13,74	
7	Annealing	6,96	13,92	16,50
8		12,27	24,54	
9		5,52	11,04	



Gambar 10. Histogram Perbandingan Hasil Nilai Regangan Tarik

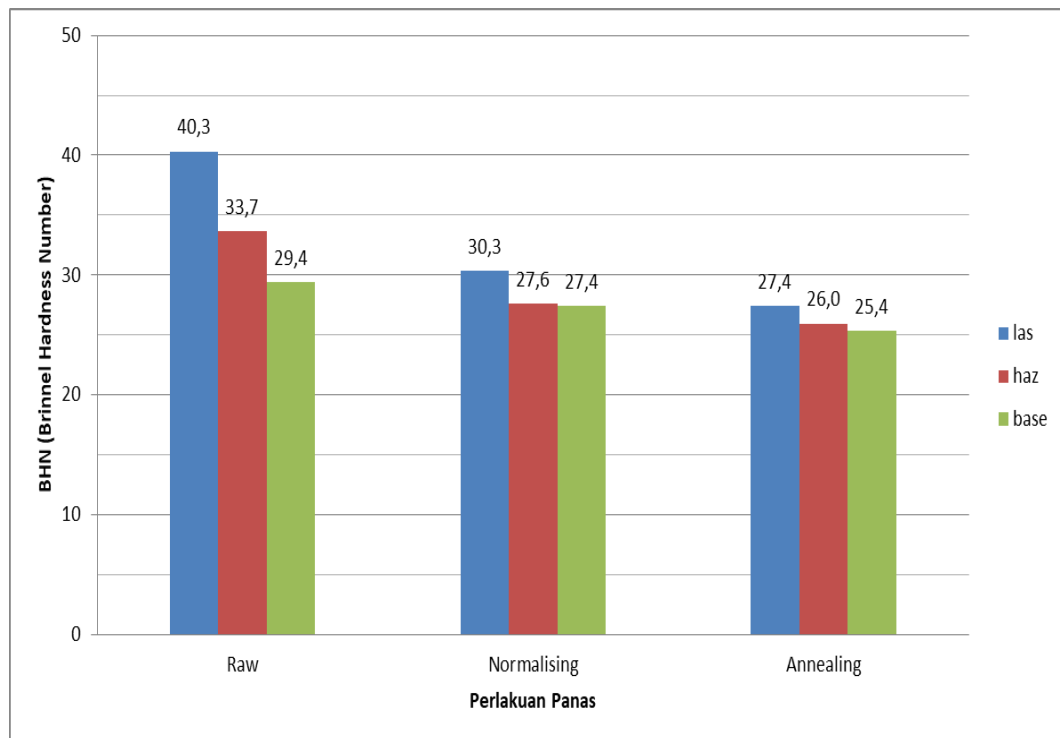
Dari histogram tegangan tarik menunjukkan nilai tegangan tarik yang terbesar pada spesimen yang di *normalizing* dengan nilai tegangan tarik 93,21 Mpa, sedangkan *annealing* mempunyai nilai tegangan tarik paling kecil 75,91 MPa. Hal ini dikarenakan dari spesimen uji tarik aluminium seri 1100 yang di *annealing* terjadi patahan pada bagian yang berbeda yaitu pada bagian *base metal* dan daerah las. Sedangkan spesimen yang tidak di *heat treatment* mempunyai nilai tegangan tarik 90,88 MPa. Hal ini dikarenakan hasil pengelasan yang kurang sempurna bisa di lihat lokasi patahan dan tidak dilakukannya perlakuan panas pada spesimen juga mempengaruhi besarnya nilai tegangan tarik.

Dari histogram regangan tarik menunjukkan bahwa pada spesimen yang di *normalizing* dan spesimen yang di *annealing* nilai regangannya mengalami peningkatan dibanding dengan spesimen yang tidak di *heat treatment*. Spesimen yang di *annealing* mempunyai nilai regangan yang paling besar 16,50% sedangkan spesimen yang di *normalizing* mempunyai nilai regangan 16,18%. Sedangkan spesimen yang tidak di *heat treatment* mempunyai nilai regangan yang paling kecil 9,03%.

### 3.2 Data Hasil Uji Kekerasan dan Pembahasannya

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Kekerasan

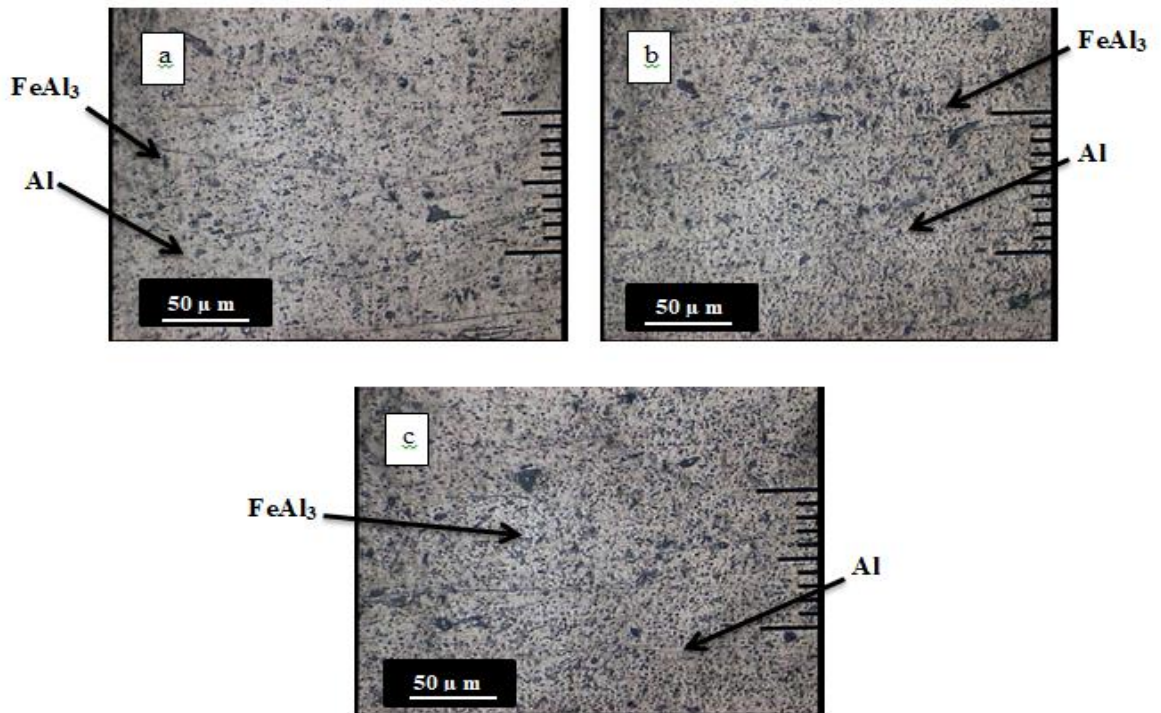
No	Perlakuan	Daerah	Diameter (mm)	Kekerasan (BHN)	Kekerasan Rata-Rata
1	Raw	Las	0,72	37,6	40,3
2			0,70	39,8	
3			0,67	43,5	
4		Haz	0,78	31,9	33,7
5			0,75	34,6	
6			0,75	34,6	
7		Base	0,8	30,3	29,4
8			0,78	31,9	
9			0,86	26,1	
1	Normalizing	Las	0,83	28,1	30,3
2			0,78	31,9	
3			0,79	31,1	
4		Haz	0,84	27,4	27,6
5			0,83	28,1	
6			0,84	27,4	
7		Base	0,85	26,7	27,4
8			0,83	28,1	
9			0,84	27,4	
1	Annealing	Las	0,84	27,4	27,4
2			0,83	28,1	
3			0,85	26,7	
4		Haz	0,84	27,4	26,0
5			0,85	26,7	
6			0,9	23,7	
7		Base	0,87	25,5	25,4
8			0,84	27,4	
9			0,91	23,2	



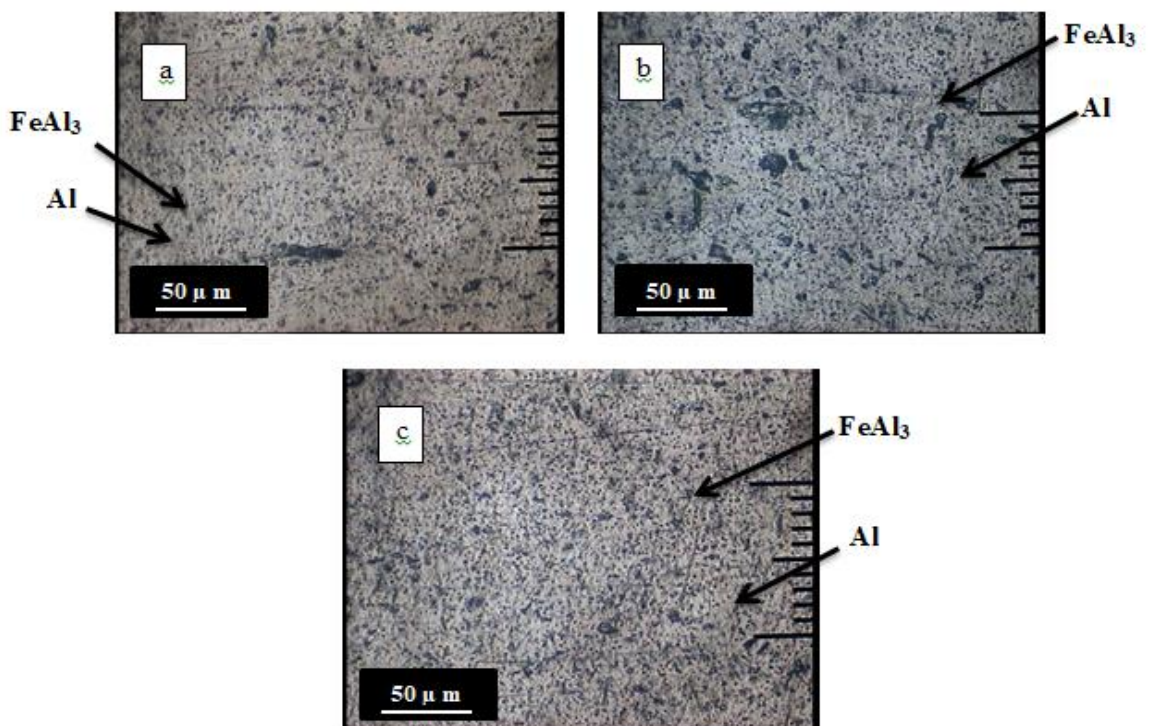
Gambar 11. Histogram Uji Kekerasan

Dari grafik diatas menunjukkan nilai-nilai kekerasan pada tiap daerah *base*, HAZ dan las (*weld*) pada setiap variabel perlakuan panas maupun tanpa perlakuan panas pada hasil pengelasan *Friction Stir Welding (FSW) Aluminium Alloy 1100* memiliki nilai kekerasan yang berbeda pada setiap bidang ujinya. Dan dari data tersebut dapat diperoleh bahwa angka kekerasan tertinggi untuk daerah *base metal* yaitu pada raw material sebesar 29,4 BHN, untuk daerah HAZ kekerasan tertinggi pada spesimen yang sudah di raw sebesar 33,7 BHN dan untuk daerah las (*weld nugget*) juga pada spesimen yang di raw sebesar 40,3 BHN. Untuk angka kekerasan terendah pada bagian las (*weld nugget*), HAZ, dan *base metal* yaitu pada spesimen yang di *annealing*.

### 3.3 Hasil Foto Struktur Mikro dan Pembahasannya

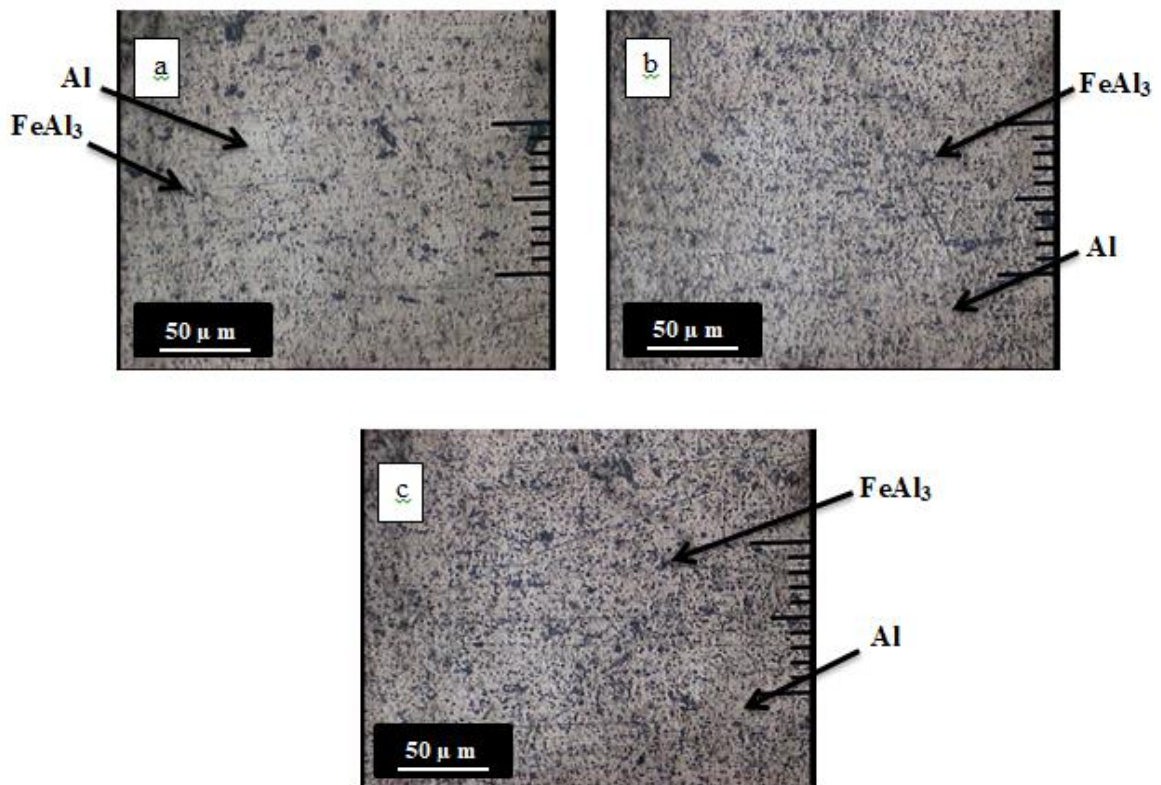


Gambar 12. Struktur Mikro daerah *Base Metal* (a) *Raw*, (b) *Normalizing*, (c) *Annealing*



Gambar 13. Struktur Mikro daerah HAZ (a) *Raw*, (b) *Normalizing*, (c) *Annealing*





Gambar 14. Struktur Mikro daerah las (a) *Raw*, (b) *Normalizing*, (c) *Annealing*

Base metal adalah daerah yang tidak terpengaruh pengelasan baik itu dari panas maupun adukan. Dari pengamatan struktur mikro daerah base metal spesimen tanpa perlakuan panas (*Raw*), *normalizing*, dan *annealing* terlihat adanya daerah gelap dan daerah terang. Daerah yang gelap menunjukkan  $\text{FeAl}_3$  dan yang terang menunjukkan aluminium ( $\text{Al}$ ).

Daerah HAZ adalah daerah yang mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami deformasi plastis. Pada daerah ini juga terjadi perubahan struktur mikro. Daerah HAZ akan terjadi perubahan ukuran butir (*grain size*) dimana perubahan ukurannya tergantung dari karakteristik material, suhu, lama pemanasan, dan laju pendinginan.

Daerah las (*Weld nugget*) adalah daerah yang terdampak oleh panas yang dihasilkan saat pengelasan dan juga daerah yang terdeformasi akibat proses



pengadukan dari pin *tool joint*. Pada daerah *weld nugget* terjadi *grain refinement*, maksudnya adalah daerah yang mengalami deformasi plastis dan pemanasan selama proses FSW sehingga menghasilkan rekrstalisasi yang menghasilkan butiran halus di daerah pengadukan. Semakin banyak batas kristal (kristal nya semakin halus) maka semakin besar tingkat rintangan yang terjadi terhadap gerakan dislokasi, yang berarti semakin kuat logam tersebut. Pengelasan *fiction stir welding* paduan AA 1100 hanya terjadi penghalusan partikel-partikel pada daerah *stir zone* dan tidak terjadi perubahan fase karena pada pngelasan ini tidak menggunakan logam pengisi ( Angger Sudrajat F.P, 2012).

#### **4. PENUTUP**

##### **4.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, bisa diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengelasan *Aluminium Alloy* 1100 dengan metode *friction stir welding* (FSW) dapat di lakukan dengan baik.
2. Dari hasil hasil sambungan setelah pengelasan FSW *Aluminium Alloy* 1100, didapat kontur permukaan yang halus, tetapi terdapat weld flash yang disebabkan adukan *shoulder* dan *pin* saat proses pengelasan.
3. Dari data pengujian tarik, menunjukan bahwa pada pengelasan FSW tanpa perlakuan panas (*Raw*) memiliki nilai tegangan tarik sebesar 105,67 MPa dan nilai regangan tertinggi sebesar 11,58%. Pada *Normalizing* material memiliki nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 98,83 MPa dan nilai regangan sebesar 20,82%. Serta pada *Annealing* material didapat nilai tegangan tarik terendah sebesar 86,19 MPa dan juga nilai regangan terendah yaitu sebesar 24,54%. Dari data pengujian tarik, bahwa perlakuan panas pada material *Aluminium Alloy* 1100 mampu merubah nilai tegangan tarik dan regangan pada material tersebut.

4. Dari data pengujian kekerasan, pada daerah Las (*Weld Nugget*) didapat nilai kekerasan tertinggi pada *Raw* material sebesar 43,5 BHN. Pada daerah HAZ didapat nilai kekerasan tertinggi pada *Raw* material sebesar 34,6 BHN. Serta pada daerah base metal didapat nilai kekerasan tertinggi pada *Raw* material sebesar 31,9 BHN. Dari data pengujian kekerasan, bahwa perlakuan panas pada material Aluminium Alloy 1100 merubah nilai kekerasan material tersebut.
5. Dari hasil foto struktur mikro, setelah proses pengelasan FSW material mengalami perubahan butir dikarenakan beberapa faktor antara lain karakteristik material, suhu, laju pengelasan, dan adukan saat proses pengelasan berlangsung. Di samping itu perlakuan panas juga sangat mempengaruhi bentuk butiran pada material.

#### **4.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal antara lain :

1. Saat proses pengelasan diharapkan menggunakan kelengkapan keselamatan demi menunjang penelitian.
2. Literatur dan referensi diharapkan untuk lebih dipelajari demi menunjang penelitian selanjutnya.
3. Menentukan parameter pengelasan yang tepat.
4. Perlunya menentukan tempat dan waktu yang tepat dalam melaksanakan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adamowski, J., dan Szdoko, M. 2007. *Friction Stir Welding (FSW) of Aluminium Alloy AW6082-T6*. Volume 20. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. International OCSCO World Press.
- American Society for Metals Handbook Committee. 1990. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, Volume 02. ASM International. The Materials Information Company.
- American Society for Metals Handbook Committee, 2004, *Heat Treating*, Volume 04, ASM International, The Materials Information Company.
- American Society for Metals Handbook Committee, 2004, *Welding, Brazing, and Soldering*, Volume 06, ASM International, The Materials Information Company.
- American Society for Metals Handbook Committee, 2004, *Metallography and Microstructures*, Volume 09, ASM International, The Materials Information Company.
- Anggono, A. D., Riyadi, T. W. B., dkk., 2018 “*Influence of Tool Rotation and Welding Speed on The Friction Stir Welding of AA 1100 and AA 6061-T6*”, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Dawes, C, J. 1999. *Friction Stir Welding. TALAT Lecture 4410*. The Welding Institute. Cambridge.
- Duniawan, Agus. 2016. *Pengaruh PostWeld Heat Treatment pada Pengelasan Friction Stir Welding (FSW) Aluminium 2024*. Jurusan Teknik Mesin IST AKPRIND: Yogyakarta.
- Elangovan, K. dan Balasubramanian, V. 2007. *Influences of Pin Profile and Rotational Speed of The Tool on The Formation of Friction Stir Processing Zone in AA2219 Aluminium Alloy*. Journal of Materials Science and Engineering. Elsevier.
- Gerlich, A., dkk. 2007. *Strain Rates and Grain Growth in Al 5754 and Al 6061 Friction Stir Spot Welds*. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International.
- Kamenichny, 1969. *Heat Treatment - A Handbook*. MIR Publishers. Moscow.
- Mandal. 2005. *Aluminum Welding*. 2nd ed. Narosa Publishing House. New Delhi.

- Mishra, Rajiv S dan Mahoney, Murray W. 2007. *Friction Stir Welding and Processing*. ASM International.
- Mishra, R.S. dan Ma, Z.Y. 2005. *Friction Stir Welding and Processing, Journal of Materials Science and Engineering*. Science Direct.
- Moarrefzadeh, Ali. 2012. *Study of Heat Affected Zone (HAZ) in Friction Welding Process*. Iran: Journal of Mechanical Engineering.
- Nandan, R, T. DebRoy, H.K.D.H. Bhadeshia. 2008. *Recent Advances In Friction Stir Welding - Process, Weldment Structure and Properties*. Science Direct.
- Popov, E.P. 1983. *Mekanika Teknik (Mechanics of Materials, 2<sup>nd</sup> Edition)*. Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama.
- Prassana, P., Panchallaya, Ch., Anandamohana Rao, D., 2013, *Effect Tool Pin Profiles and Heat Treatment Process in The Friction Stir Welding of AA 6061 Aluminium Alloy*, American Journal of Engineering Research.
- Romadhona, I., 2018, “*Studi Pengelasan Friction Stir Welding pada AA 1100 dengan Fe Menggunakan Variasi Feedrate 25 mm/menit, 30 mm/menit, dan 40 mm/menit*”, Tugas Akhir S-1, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Smith, W. F., dan Javad H. 1993. *Foundations of Materials Science and Engineering*. 5th ed in SI Units. University of Central Florida – McGraw Hill Inc.
- Sudrajat, A., 2012, “*Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium AA 1100 dengan Metode Friction Stir Welding (FSW)*”, Tugas Akhir S-1, Universitas Jember.
- Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.
- Subramaniam, Senthilkumar, dkk. 2013. *Acoustic Emission–Based Monitoring Approach for Friction Stir Welding of Aluminum Alloy AA6063-T6 with Different Tool Pin*. Journal of Engineering Manufacture. Institution of Mechanical Engineering. India.
- Sugito, B., Anggono, A.D., Prasetyana, D., 2016, “*Pengaruh Kedalaman Pin (Depth Plunge) terhadap Kekuatan Sambungan Las pada Pengelasan Gesek AL 5083*”, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Tim Pengajar Bahan Teknik. 2011. *Materi Pembelajaran Mata Kuliah Bahan Teknik I*. Yogyakarta: Sekolah Vokasi.

Triyoko, D., 2016, “*Analisa Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Sambungan Las Beda Properties Aluminium dengan Metode Friction Stir Welding*”, Tugas Akhir S-1, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Wiryosumarto, H., Okumura, T., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta : PT Pradya Paramita.